

壊した傘と軸の曲げ・ねじれ

著者	熊谷 正朗
雑誌名	プラントエンジニア
巻	49
号	6
ページ	66-67
発行年	2017-06
URL	http://id.nii.ac.jp/1204/00024064/

壊した傘と軸の曲げ・ねじれ

少し前、出勤途中に傘を壊してしまいました。おそらく、傘としては珍しい壊れ方をしたので、その原因を考えてみるのが、今回の話題です。

傘が壊れる、というと、いくつかのモードが思い当たります。「大人になってから」でいえば、単純に経年劣化で穴が空いたりして雨漏りするような場合や、台風などの強風であおられて裏返ったうえに骨が破断して壊れる場合が多いでしょうか。一方、「子どものとき」は傘を杖にして歩いて軸を曲げたり（何本も経験あり）、あるいはチャンバラして軸や骨を曲げたり折ったり、という破損が目立つ気がします。途中で「壊してしまう」ことで経年劣化が目立つところまでは持たない、強風の中を出歩くことがない、傘が先に飛ばされる、なども理由かもしれません。これらに対して、今回私がやらかした破壊は、「軸が数百ミリにわたって裂けた」というものでした。

問題は、なぜ裂けたかということです。まず、この傘の軸は木製であり、繊維に沿って裂けています。ただし、一般的な木材の曲げ破壊では、部分的に裂けるにせよ、荷重点近傍での破断であって、長い範囲には裂けません。実際に壊した状況は、雨の中、屋根のあるところにたどり着いて、傘の水切りをしていたところでした。私は手首のスナップで軸周りに往復旋回させて、遠心力で水切りをする癖があり、その途中で急に負荷がなく

なったと思ったらバキッと行きました。

さて、軸はメカ・メカトロの重要な機械要素です。動力を伝達するための軸、関節部の回転軸となるための軸などがあります。これらの軸には多くの場合は2つの力が作用します。1つは曲げの力、もう1つはねじれの力＝トルクです。単なる屈曲部を支える回転軸の場合には、一般にはスムーズに回転するようにする＝回転するためのトルクは小さいことで、このトルクが問題になることは少ないのですが、動力伝達の場合には軸に明確にねじれトルクが作用する（これにより動力を伝える）ので、考慮が必要です。ほかにも長手方向に作用する力もありますが、それが破壊につながるような使い方は軸ではまれだと思います。

まず、曲げについては、複数の点での横方向からの力や自重によって起こり、棒に力をかけて曲げる、というイメージそのものです。軸が短い場合には、自重による影響はあまり見られません。歯車のつく軸では、軸受や歯車からこの曲げの力が作用します。これに比例して、また材料の縦弾性係数（バネ定数のような、材料ごとの変形と力の係数）に反比例して、たわみが生じます。このとき、膨らんだ側の表面で最大の引張りの力が生じ、これが材料の強度を超えると、元には戻らない塑性変形を起こして軸が曲がってしまったり、さらには破断したりする場合があります。

熊谷正朗 —KUMAGAI MASA-NAKI—

東北学院大学 工学部 機械知能工学科 教授

東北学院大学工学部 教授／仙台市地域連携フェロー(ロボットメカトロ系担当)。2000年東北大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、同大助手。03年東北学院大学講師、助教授、准教授を経て、現在に至る。ロボメカ系開発を専門とし、メカの設計からマイコンやサーバのソフト開発までを行う。「基礎からのメカトロニクス講座」や地域企業訪問も実施中。



つぎに、ねじれです。トルクに対してのねじれの関係は、材料のせん断変形、つまり、もともと長方形だった部分が平行四辺形になるような変形の原理によって説明されます。丸めたタオルのような柔らかい円柱状のものをねじってみると印象がつかみやすいと思いますが、円柱の表面で、ある方向には引っ張られるような、それと交わる方向にはたるむような現象が見られます(上記の長方形変形の2本の対角線にあたる方向)。この材料のねじれは、単位長さあたりのねじれ角で表され、材質の強さ、断面形状(単純に太いほどねじれにくい、同じ断面積ならパイプ状が有利など)、かけたトルクで決まり、さらに軸の長さが長いほどねじれは大きくなります。また、このねじれに対する材料の変形・作用する力は表面で一番大きくなります。これによる破壊の様子は材料の特性により、軸に垂直に切ったような破断、軸に対して斜めに割れるような破壊などが知られています。

今回、傘の軸の破壊は、後者のねじりによるものです。かつ、材質が木材という異方性の高い、方向によってかなり性質の異なる材料です。木材は繊維の方向の引張りには強いものの、それと直角の、繊維を引きはがす方向には強度が落ちます。傘の軸に、強度を超えるようなトルクが作用したことで、繊維間の強度が限界に達して剥離し

た、と考えることが妥当なようです。そのうえ、軸のトルクは手元から上部の金具まで同じなので、一ヵ所壊れ始めたところから全体が裂けたと考えられます。一般の金属材料でこのような壊れ方をすることは見かけませんが、木材を用いるものでは想定しておいたほうがよいのかもしれません。

ちなみに、このトルクの原因は回転の慣性力です。回転方向の加速度である角加速度に軸周りの慣性モーメントをかけると慣性トルクになります。慣性モーメントは回転軸からの半径の2乗に依存するため、傘を広げると閉じたときよりかなり大きくなり、同じ回転のさせ方でも必要なトルクは大きくなります。さらに、水を切るために向きを小刻みに反転させつつ回転させていた＝正逆に常に加速度が生じていた状態で、手先でも大きめのトルクは感じていました。

最後に余談を。この文を書くに当たって気をつけたことがあります。それは「壊れた」ではなく「壊した」という表現です。「機械が壊れた」といった表現をよく使いますが、元来、「壊れた」と「壊した」は根本的に状況が異なります。学生さんにはときどき説明しているのですが、今回の傘は明らかに私がやったことなので、自戒も込めて「壊した」にこだわりました。とくに報告するときなどは気をつけるべき区別だと思います。